

Miniaturisierte BeO-OSL-Detektoren für die Dosimetrie in Zellkulturen und Organismen: Anwendung und Herausforderungen

Diplomarbeit

Michael Anders, Arbeitsgruppe Strahlungsphysik

TU Dresden, Oktober 2009





1. Problemstellung
2. Dosimetrie nach der Sondenmethode
3. Das Dosimetriesystem
4. Anwendbarkeit in verschiedenen Umgebungen
5. Effekte bei Veränderungen des Dosimetriesystems
6. Weitere Ergebnisse und Ausblick



Vorteile kleinster Dosimeter:

- erlauben Dosismessungen an einem bestimmten Punkt und in inhomogenen Medien
- geringere Störung und Beeinflussung des Strahlungsfeldes (und der Dosisverteilung)
- haben die typische Größe (≤ 1 mm) von Zellkulturen und kleinen Organismen

Problemstellung



Aber:

- kleinste Detektoren sind in der Handhabung schwierig (und auch nach der Applizierung schwer zu finden, beispielsweise in einem Organismus)
- müssen in biologischen Umgebungen absolut inert sein
- Fragen zur Analysemethode, da kleines Signal erwartet wird



Direkte Dosiswerte von biologischem Gewebe (bspw. durch Analyse beschädigter Proteine, Messung der Radiolyse oder erhöhter Temperatur) sind nahezu unmöglich zu erhalten.

→ Idee: Ersetze lokales Gewebe durch ein Material mit einer leicht zu messenden dosisproportionalen Größe

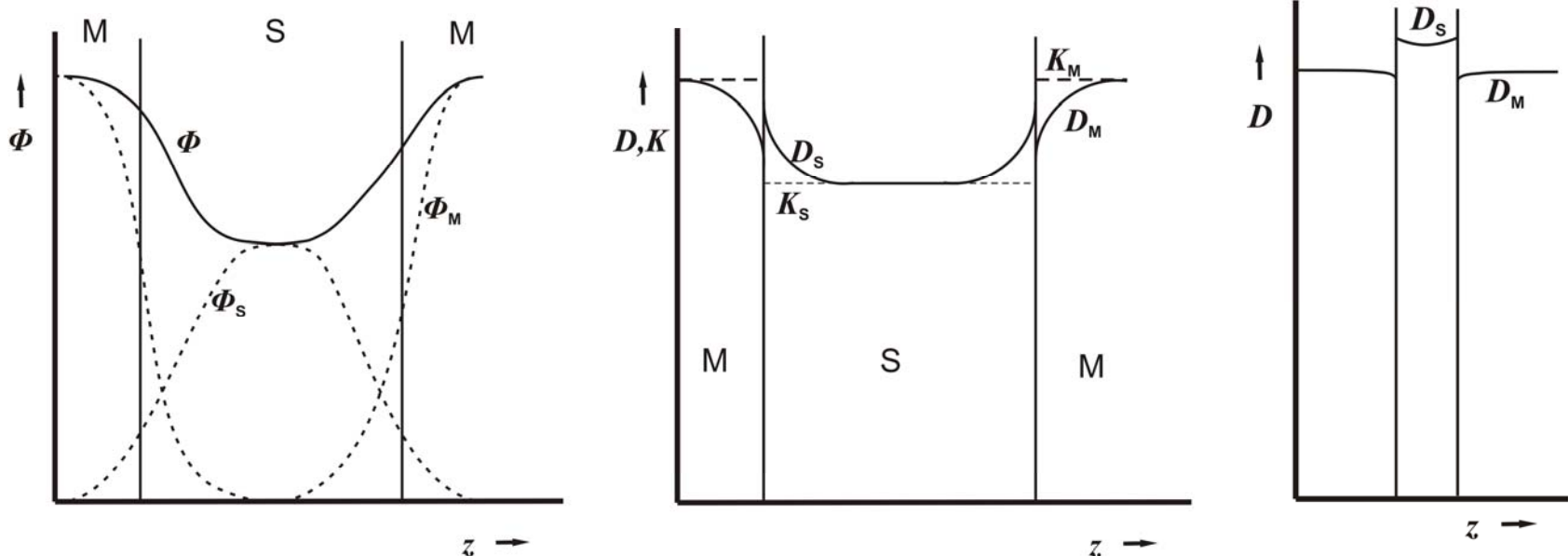
- Beispiele:
- Schwärzung eines Filmes
 - Licht von Szintillatormaterialien
 - Lumineszenzlicht von LiF, Al_2O_3 , BeO u.a.
 - elektrischer Strom in einer Ionisationskammer

Dosimetrie nach der Sondenmethode



Aber: Das Sondenmaterial hat eine andere Wechselwirkung mit dem Strahlungsfeld, da es andere Wechselwirkungskoeffizienten besitzt

→ führt zu falschen Dosiswerten und Abhängigkeiten von Parametern (wie Energie, Sondengröße, Sondenform, ...) !





Mögliche Lösung: Theorie der idealen Sonde – Vermeiden eines Dosisgradienten, oder Verlagerung des Gradienten aus der Sonde heraus

Beispiel Gleichgewichtssonden:

- dürfen Primärstrahlungsfeld nicht spürbar beeinflussen (müssen u.a. klein sein)
- benötigen ein Sekundärelektronengleichgewicht im gesamten Sondenvolumen
- dann bestimmt nur noch das Feld der Primärphotonen die Sondendosis, andere Einflüsse sind ausgeschaltet

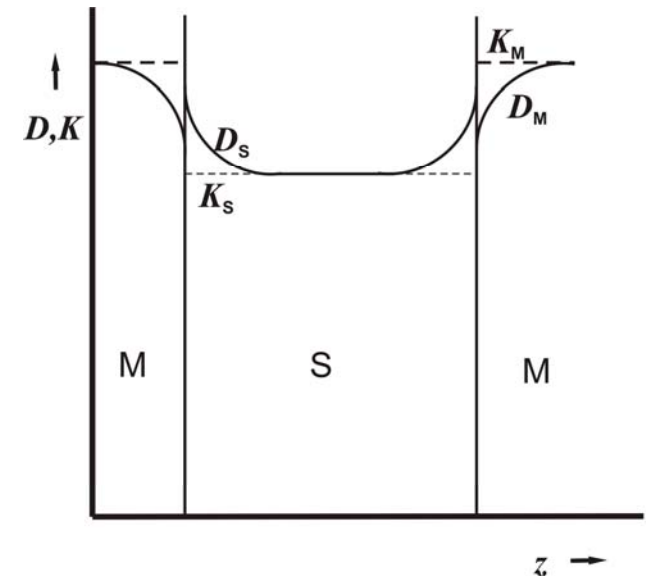
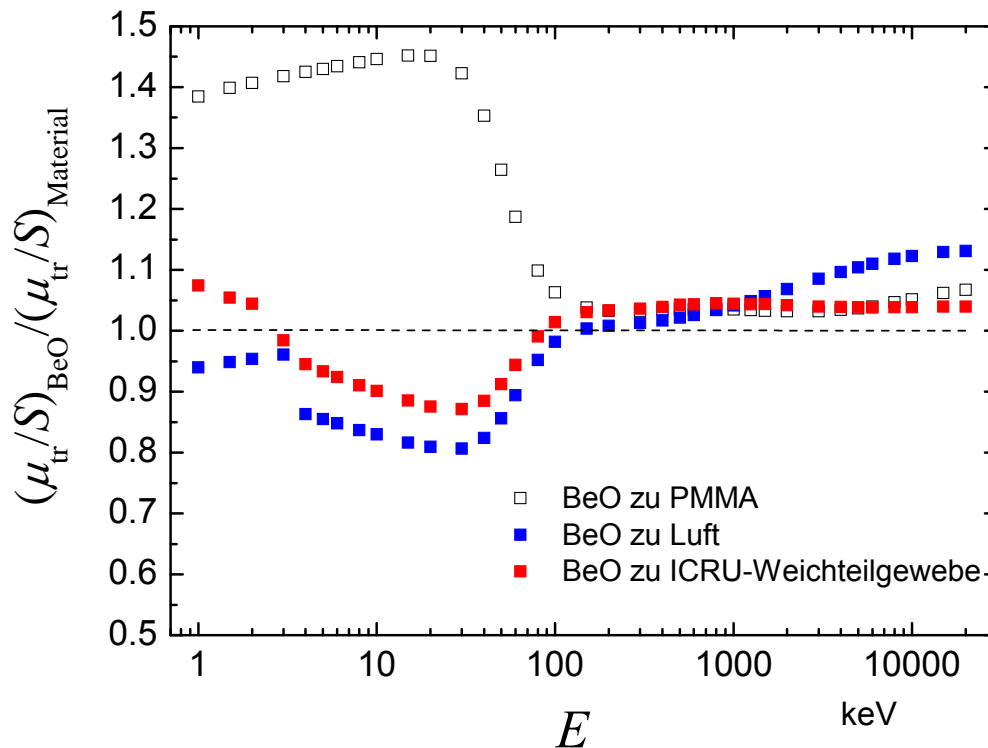
Gleichgewichtssonden sind für Elektronenstrahlung nicht brauchbar, aber sehr gute Photonendosisdetektoren.

Dosimetrie nach der Sondenmethode



Wie stelle ich ein Sekundärelektronengleichgewicht im gesamten Sondenvolumen sicher?

- Mit einem äquivalenten Wandmaterial.





Wie berechne ich die Dosis im Originalmaterial?

Im gleichen Strahlungsfeld, d.h. für die gleiche Photonenfluenz, aber bei unterschiedlichen Wechselwirkungskoeffizienten gilt

$$D_B = \frac{(\bar{\mu}_{tr} / \rho)_B}{(\bar{\mu}_{tr} / \rho)_A} D_A \quad (D_A \text{ ist die Sondendosis})$$

Ähnlicher Ansatz für Elektronenstrahlung (Bragg-Gray-Theorie):

- dünne Sonden, um Beeinflussung des Primärelektronenfeldes zu minimieren
 - dünne Wand, um Elektronen der zweiten Generation zu stoppen
- Dann ist die Sonde ein reiner Elektronendosisdetektor, und es gilt:

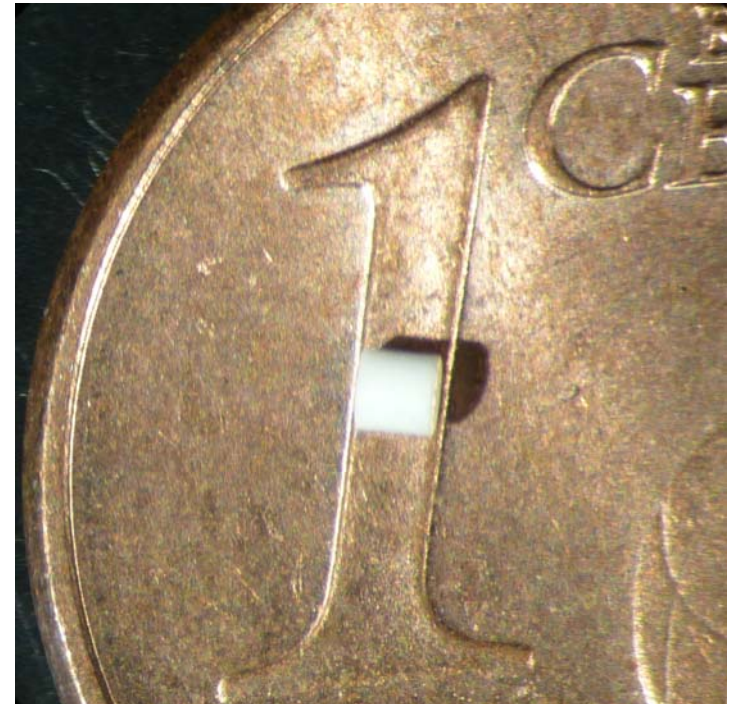
$$D_B = \frac{(\bar{S} / \rho)_B^{\text{col}}}{(\bar{S} / \rho)_A^{\text{col}}} D_A$$

Das Dosimetriesystem



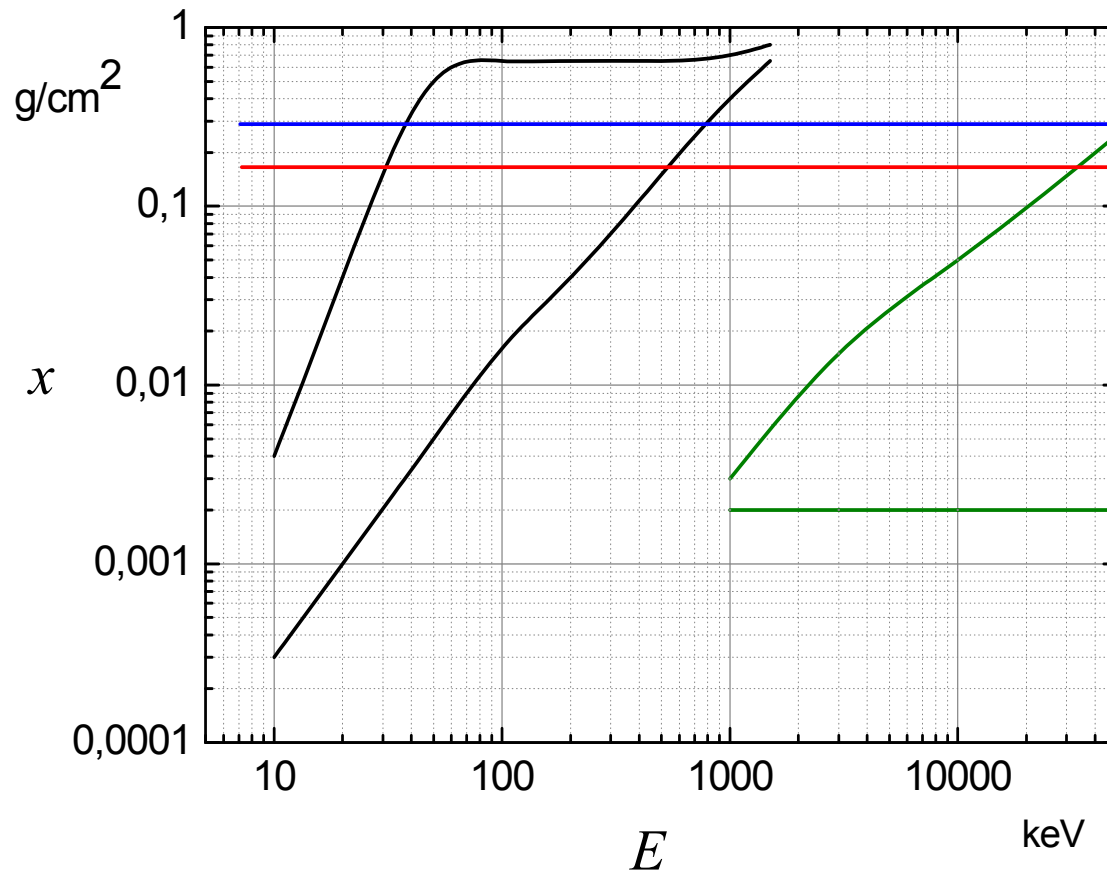
Zu untersuchen: miniaturisierte BeO-Detektoren
(1 mm Höhe und Durchmesser)

- aus gesintertem BeO-Pulver
- Dichte: 2.85 g/cm^3
- sehr stabil und hart (Mohs 9)
- unlöslich in Wasser
- Schmelzpunkt $2530 \text{ }^\circ\text{C}$
- elektrischer Isolator
- effektive Kernladungszahl 7,12



- verfügt über die Eigenschaft der optisch stimulierten Lumineszenz

Das Dosimetriesystem



Miniaturisierte Detektoren

Weiter miniaturisierte
Detektoren

Bedarf an spezieller Kalibrierung in einigen Strahlungsfeldern,
in denen die Detektoren keine idealen Sonden sind!



Warum kann BeO als Dosimetermaterial genutzt werden?

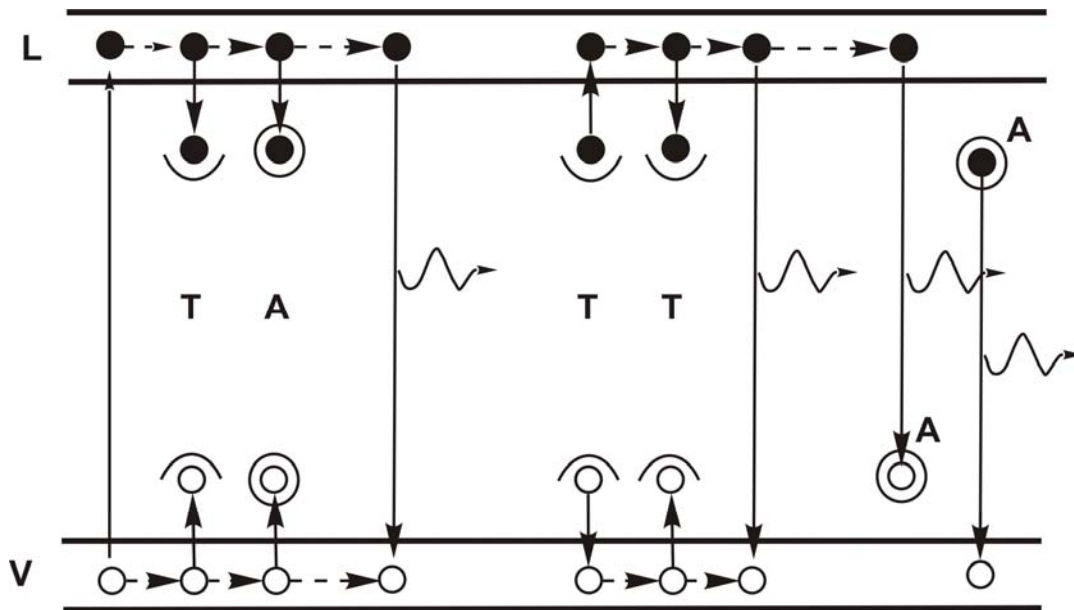
- Eigenschaft der optisch stimulierten Lumineszenz (OSL) mit einem dosisproportionalen Messeffekt
- einfach zu messende Größe (UV-Lichtemission)
- Material ist beliebig oft wiederverwendbar (nach Löschung der Dosisinformation)
- effektive Kernladungszahl von 7,12 liegt nah bei den Werten wichtiger biologischer Materialien wie
Muskel: 7,64 Wasser: 7,51 Fett: 6,46 Luft: 7,78

Das Dosimetriesystem



Optisch stimulierte Lumineszenz:

Gitterdefekte und Fremdatome erzeugen zusätzliche Energieniveaus, einige mit extrem langen Verweildauern.

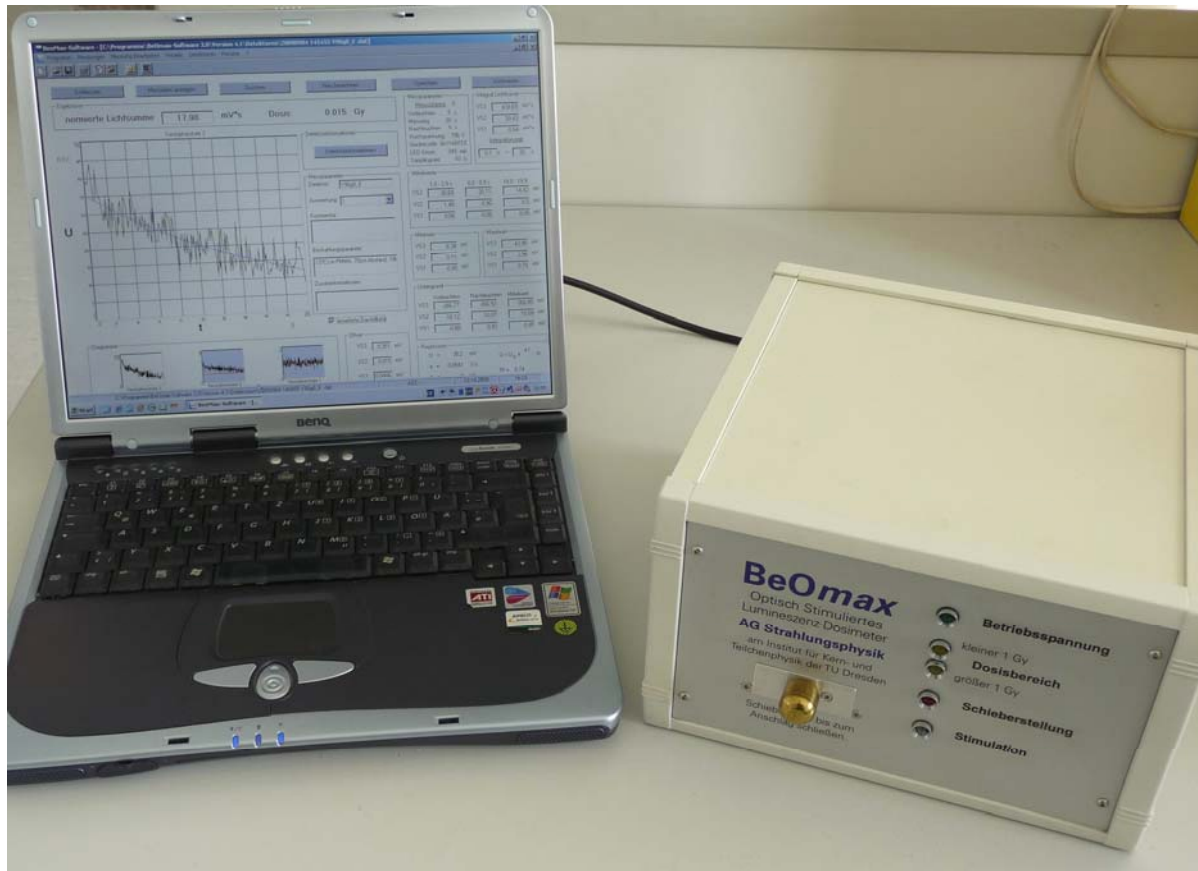


Modell zur Beschreibung
stimulierter Lumineszenz

Das Dosimetriesystem

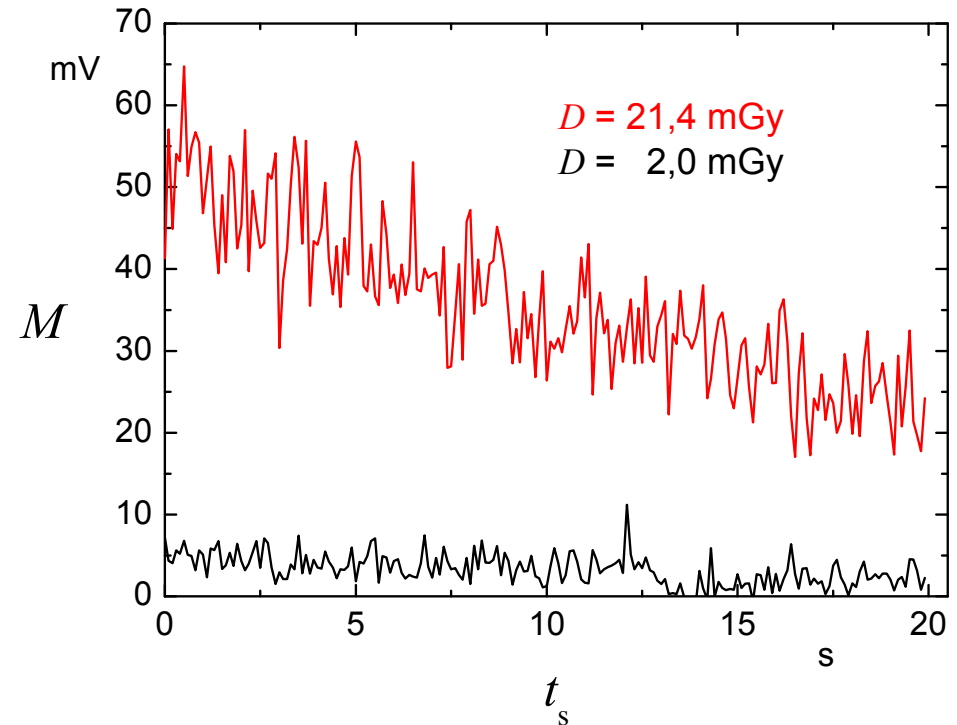
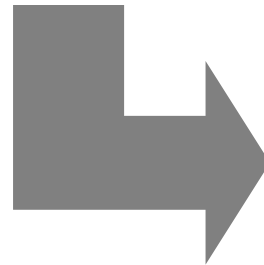
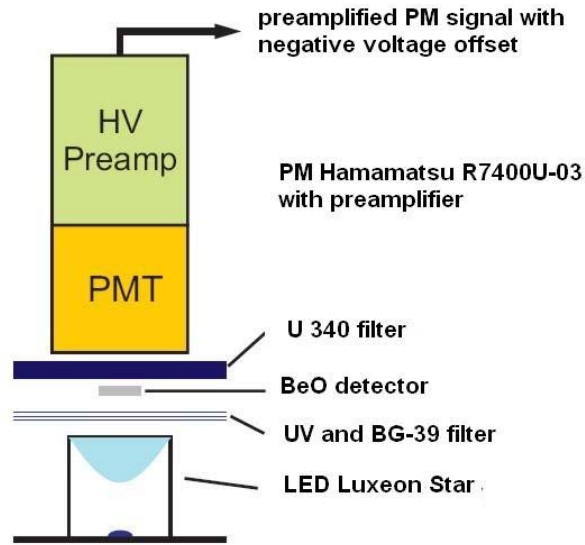


Wie wird das emittierte UV-Licht gemessen?



Das BeOmax-System,
entwickelt in der
AG Strahlungsphysik.

Das Dosimetriesystem



Das Dosimetriesystem



Problem: Verschiedene Quellen für Untergrundsignal:

- veränderlicher Offset des Vorverstärkers
- Rauschen des Vorverstärkers
- Untergrundstrahlung

→ führt zu unterer Erkennungsgrenze von 0,4 mGy
(gewonnen aus 100 Messungen des Signaluntergrundes)

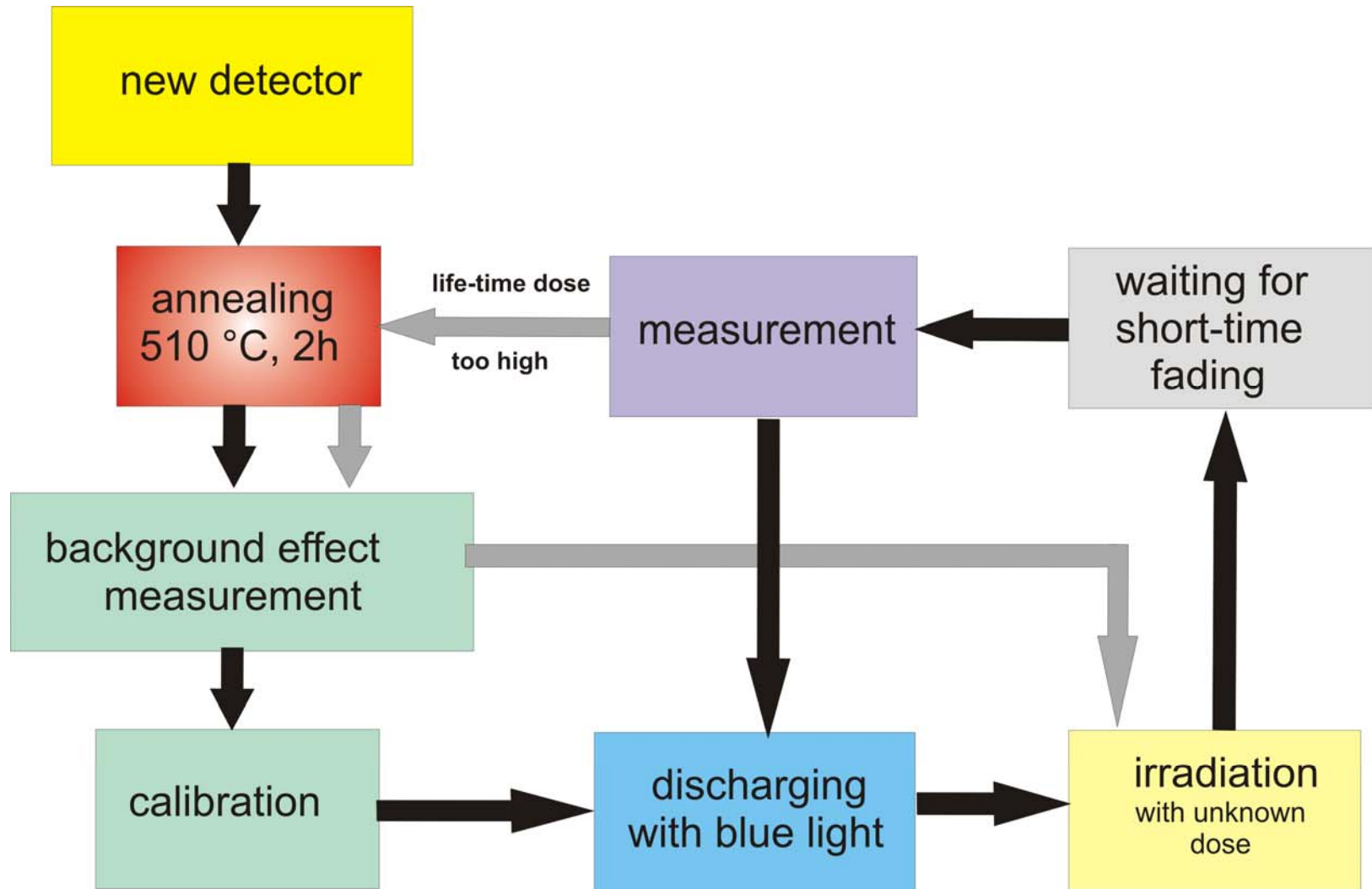
Problem: jeder BeO-Detektor hat eine individuelle Empfindlichkeit

→ muss daher individuell kalibriert werden

Problem: Kurzzeitfading nach Bestrahlung (10% nach 30 Minuten)

→ Detektoren müssen zwischen Bestrahlung und Auswertung in einer dunklen Umgebung gelagert werden

Das Dosimetriesystem



Anwendbarkeit in verschiedenen Umgebungen



Detektoren müssen inert bleiben in:

- Wasser und wässrigen Lösungen
- Säuren und Basen
- organischen Lösungsmitteln
- Körperflüssigkeiten
- Nährlösungen für Zellkulturen

Ergebnisse nach Behandlung der Detektoren mit verschiedenen Flüssigkeiten:

Gesinterte BeO-Detektoren sind inert, auch in heißen konzentrierten Säuren, und ändern ihre Empfindlichkeit nicht.

Untersuchung auf Anwendbarkeit in radioaktiven Lösungen:

Anwendbarkeit in verschiedenen Umgebungen



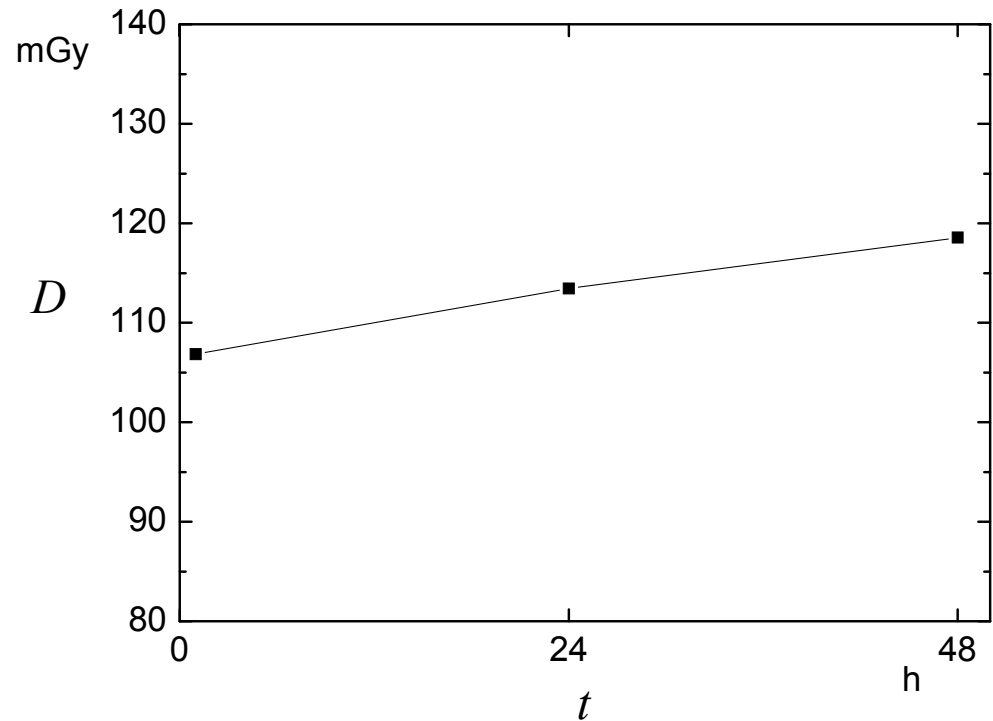
Bestrahlung der Detektoren in 90 ml einer Lösung mit 1 GBq ^{90}Y



Anwendbarkeit in verschiedenen Umgebungen



Wachsende Detektordosis durch Oberflächenkontamination, auch nach mehrmaligem Spülen.



Effekte bei Veränderungen des Dosimetriesystems

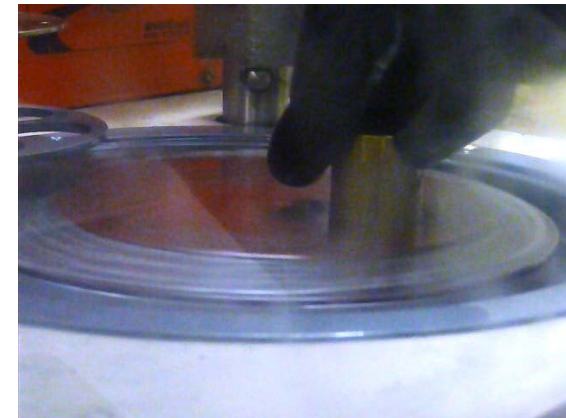
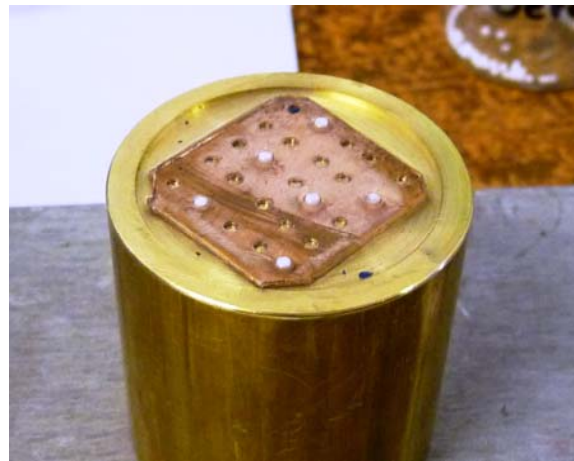


1. Weitere Miniaturisierung

BeO-Pulver ist bei Inhalation stark kanzerogen!

→ Umfassende Sicherheitsvorkehrungen bei mechanischer Bearbeitung der Detektoren nötig!

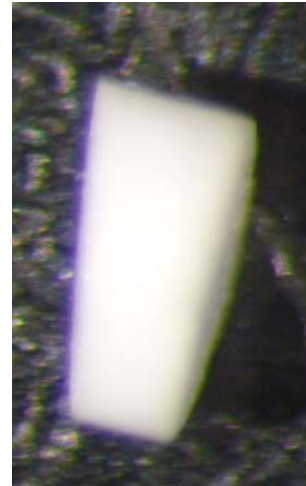
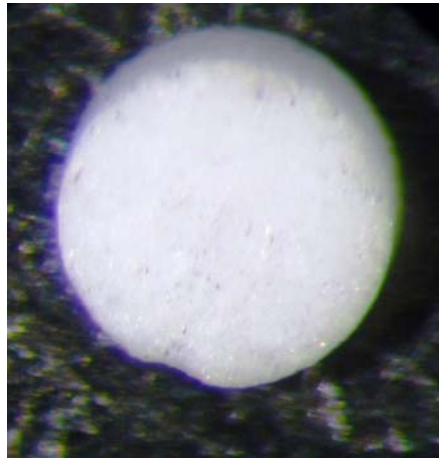
Partner: Karlsruhe Beryllium Handling Facility



Effekte bei Veränderungen des Dosimetriesystems



Ergebnis:

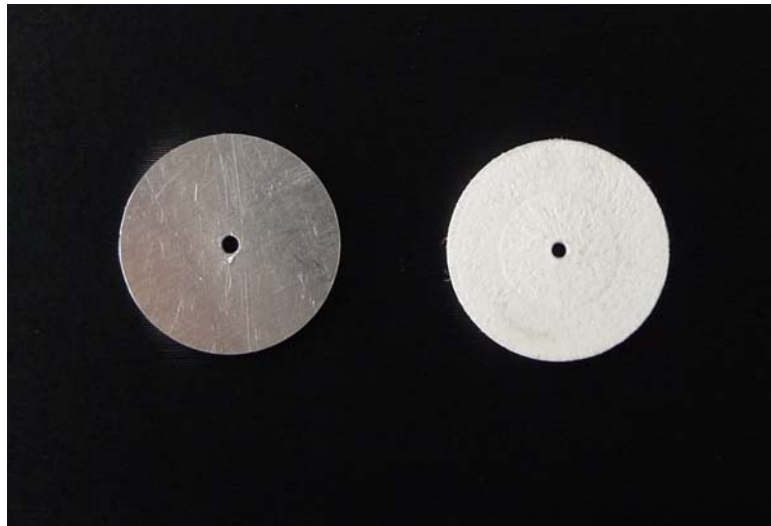


- Reduzierung der Detektorhöhe im Mittel um 57%
- leicht erhöhte untere Erkennungsgrenze (0,6 mGy)
- sehr schwierig zu handhaben



2. Wechsel des Halterungsmaterials im BeOmax

Bei Nutzung von Aluminium wird nur der Detektorboden stimuliert.
→ Ein opakes Material erlaubt Stimulation auch von der Seite.

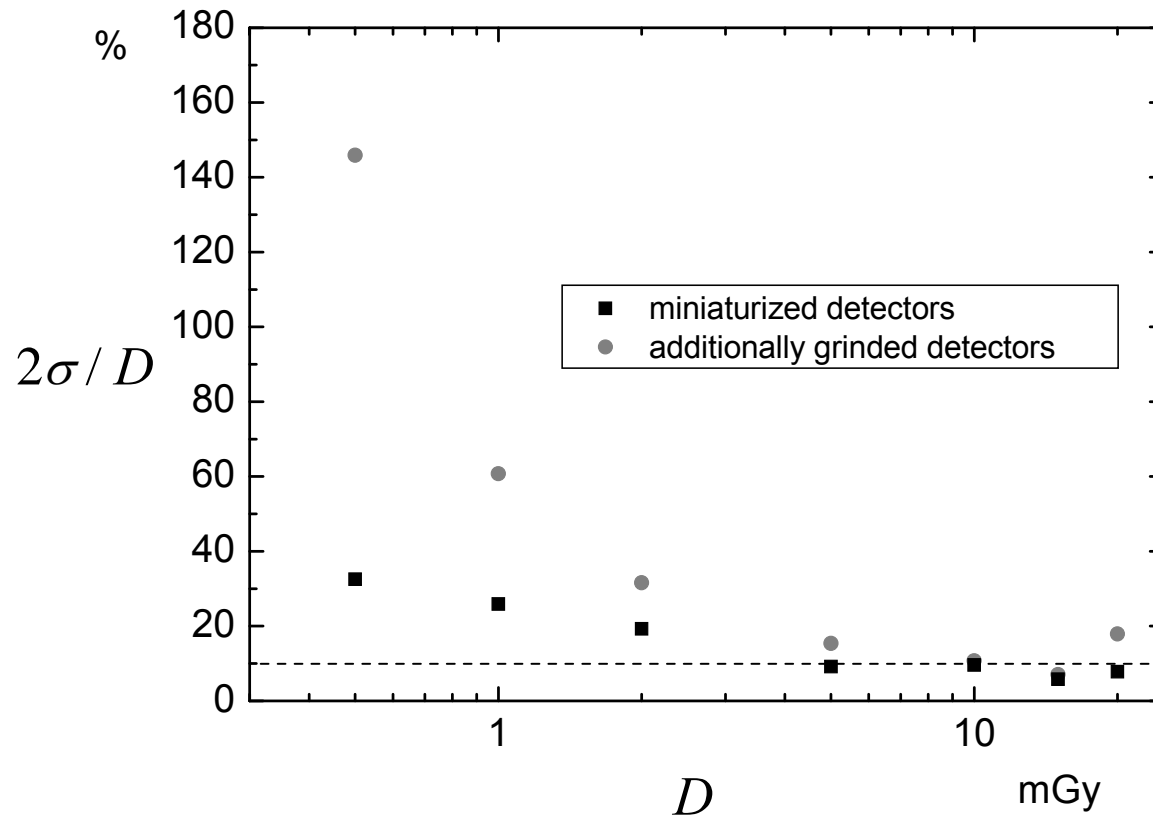


Aluminium und opakes
gesinteres Teflon (Optisol)

Effekte bei Veränderungen des Dosimetriesystems



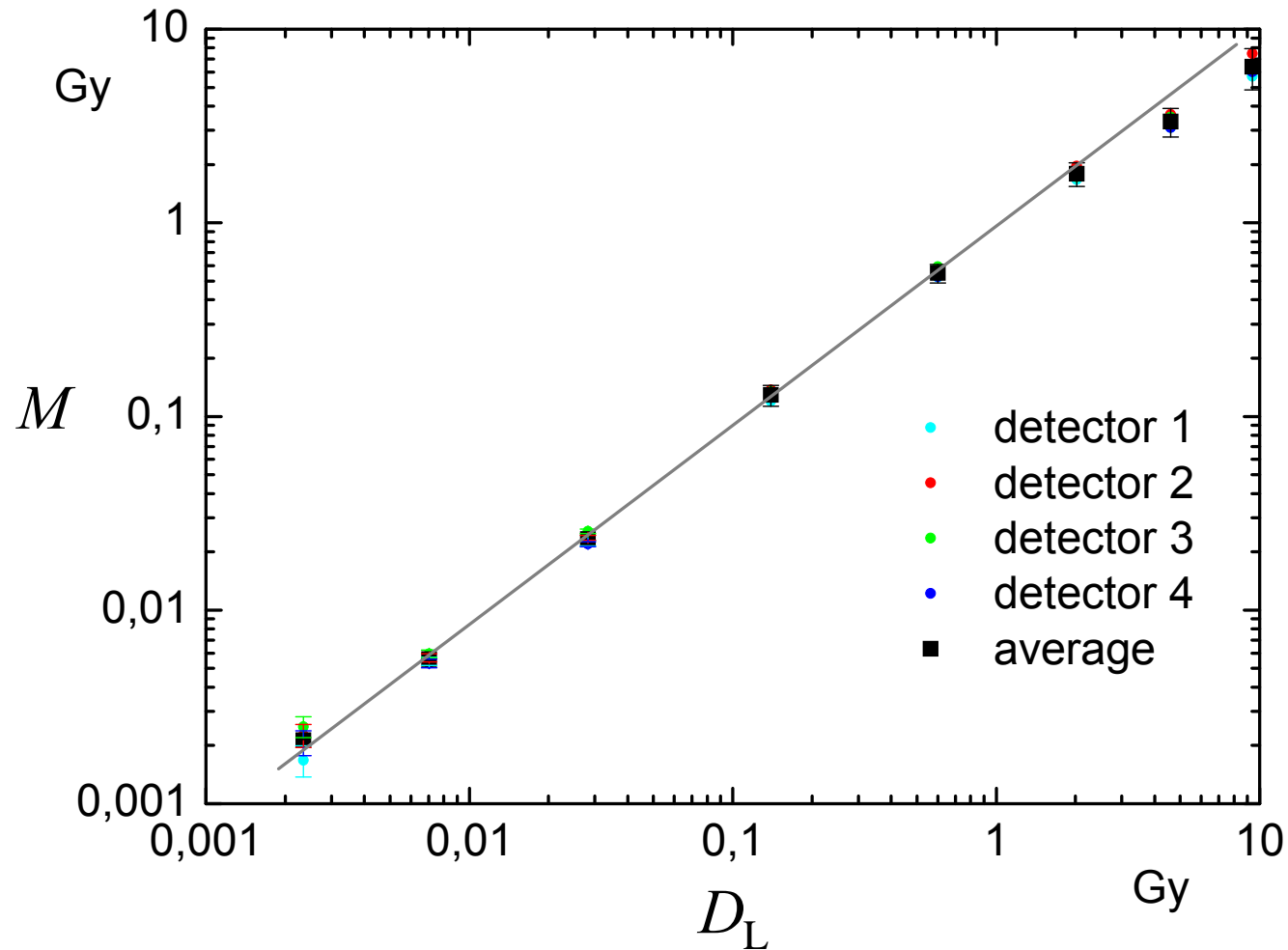
- Ergebnis:
- erhöhte Empfindlichkeit (etwa 50%)
 - gesenkte untere Erkennungsgrenze (unter 0.3 mGy)
 - verbesserte Messgenauigkeit



Weitere Ergebnisse und Ausblick



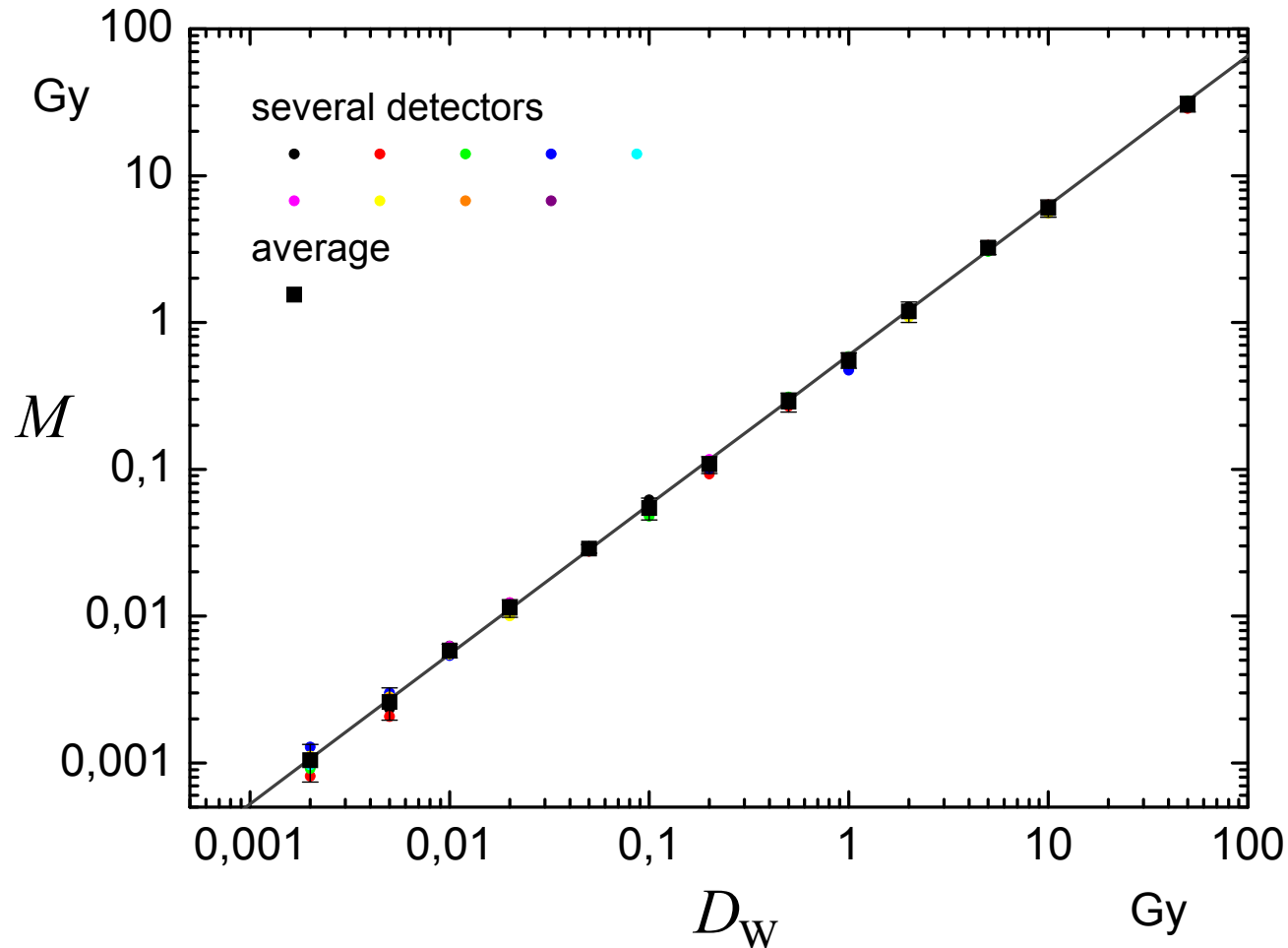
Dosischarakteristik: Photonenstrahlung (662 keV von ^{137}Cs)



Weitere Ergebnisse und Ausblick



Dosischarakteristik: Betastrahlung (^{90}Y)



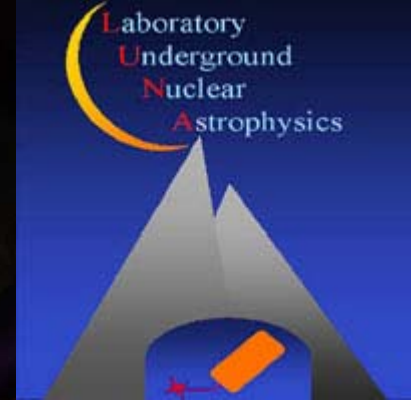


- erreicht:
- Charakterisierung des Dosimetriesystems, bestehend aus miniaturisierten BeO-Detektoren und dem BeOmax
 - Detektoren sind in biologischen und radioaktiven Umgebungen einsetzbar
 - Kenntnis über Anwendung und Wiederverwendbarkeit
 - Verbindung mit Theorie der Dosimetrie, um falsche Dosismessungen zu vermeiden
- zu tun:
- ein Photonencounter anstatt eines Photomultipliers erhöht möglicherweise die Empfindlichkeit und senkt die untere Erkennungsgrenze des Dosimetriesystems
 - verbesserte Stimulationseinheit
 - Forschung über Anwendung der Detektoren in hellen Umgebungen

Herzlichen Dank für die Aufmerksamkeit!







Das LUNA-Experiment am Gran Sasso in Italien

Michael Anders

**Forschungszentrum
Dresden-Rossendorf**



Nukleare Astrophysik am LNGS

LUNA...

- ... ist eine Kollaboration verschiedener Institutionen in Italien, Deutschland und Ungarn
- ... ist das einzige Experiment weltweit, das einen Beschleuniger in einer solchen Umgebung betreibt
- ... hat bisher sehr erfolgreich Daten wichtiger Reaktionen der primordialen und der Nukleosynthese in Sternen gemessen
- ... nutzt zur Zeit einen 400 kV Linear-Ionenbeschleuniger

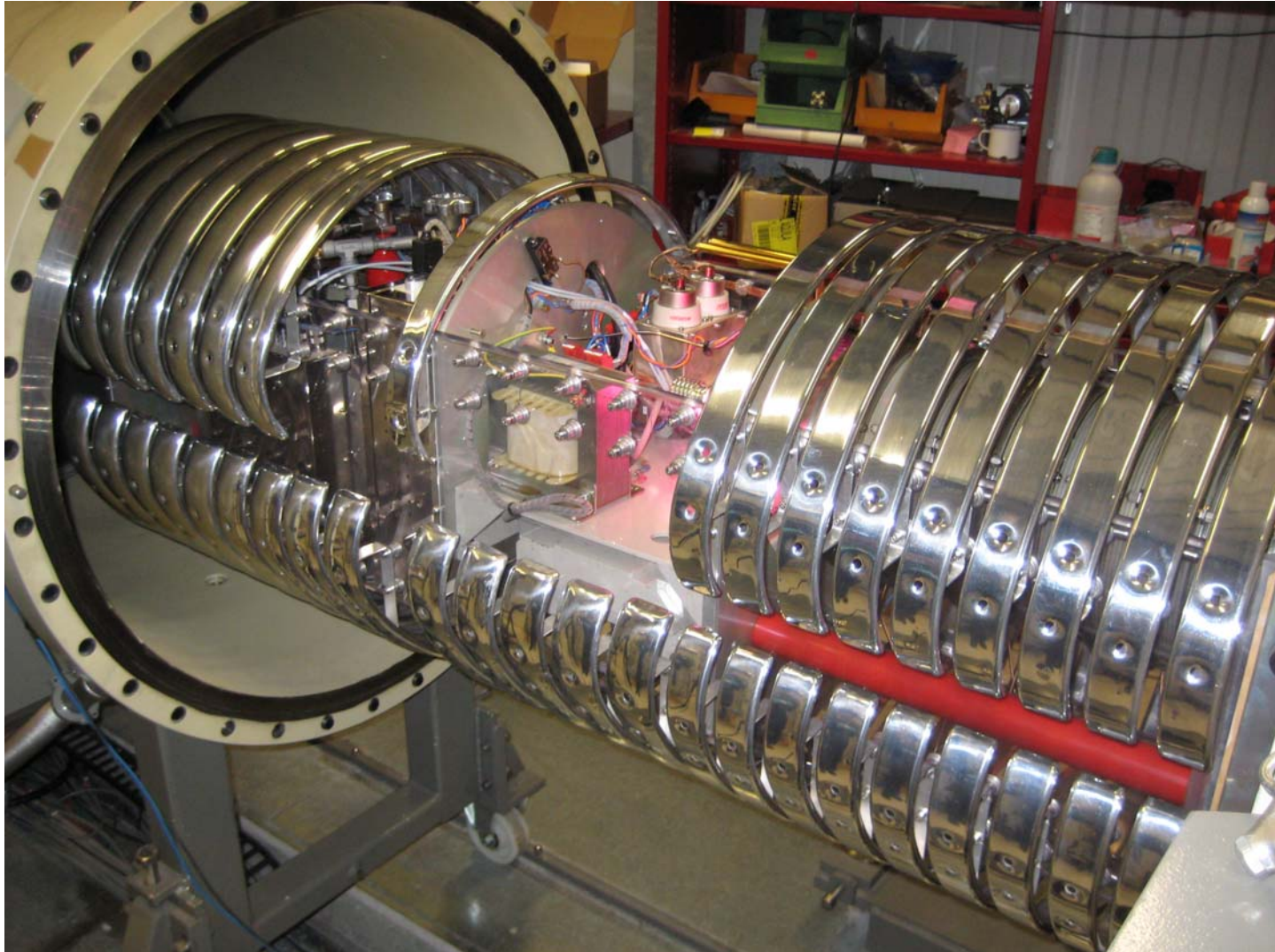
„Mein“ Experiment ist die Reaktion $d(\alpha, \gamma)^6\text{Li}$...

Die Herausforderung

...bei Energien unterhalb der Coulomb-Barriere, also mit sehr kleinem Wirkungsquerschnitt. Die Aufgabe ist also:



Der LUNA 400kV-Beschleuniger



Das abgeschirmte Gastarget



Noch einmal danke für die Aufmerksamkeit!

